

сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
Дубна

Б 246

13-88-345

М.Баргел*, Я.Китовски*, Ю.Н.Пепёлышев

КЛАССИФИКАЦИЯ СПЕКТРОВ ШУМОВ МОЩНОСТИ
В ЗАДАЧЕ ДИАГНОСТИКИ РЕАКТОРА ИБР-2

* Институт информатики Горно-металлургической академии, Краков, ПНР.

Исследование случайных процессов, происходящих в реакторе ИБР-2, показало, что спектральная плотность колебаний энергии импульсов мощности содержит типовые структуры, характеристики которых связаны с определенным состоянием реактора^{/1,2/}. Это позволяет путем сравнения текущего спектра* реакторного шума с эталонными (типичными) спектрами идентифицировать доминирующий источник возмущений мощности и определить степень отклонения его характеристик от допустимых. Такой подход к диагностике реактора требует знания эталонных спектров** и степени их адекватности физическому состоянию реактора. В решении этой задачи, являющейся целью данной работы, использовались методы распознавания образов. В рамках этих методов под эталоном некоторого класса образов (спектров) понимается средний образ, описание которого усреднено относительно описания всех образов данного класса. Под классом понимается множество образов, объединенных некоторыми общими свойствами.

В работе приводятся результаты классификации спектров реакторных шумов, измеренных в период с 1983 по 1986 гг., т.е. в период работы реактора на мощности 0,4-2 МВт с первым вариантом подвижного отражателя (ПО): основной подвижный отражатель (ОПО) — лопасть, дополнительный (ДПО) — трезубец.

1. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕАКТОРНОГО ШУМА И УСЛОВИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

При большом уровне мощности ($W > 10$ кВт) шумы реактора ИБР-2 зависят от осевых и фазовых колебаний подвижных отражателей, а также от условий протекания натрия через активную зону^{/3/}. Как показали исследования, механические колебания ПО являются главным источником шумов мощности (их вклад в полную дисперсию шума составляет 52-58%, вклад натриевых шумов в среднем не превышает 17-21%).

*Здесь и в дальнейшем под термином "спектр" понимается спектральная плотность.

**Если в процессе работы реактора характеристики эталонных спектров изменяются, то система диагностики должна вводить необходимые коррективы.

Отдельные источники шумов воздействуют на мощность в разных частотных диапазонах. Компонента натриевых шумов в основном сосредоточена в низкочастотной части спектра ($f \leq 1$ Гц), а шумы, обусловленные вибрациями ПО, представлены в виде линейчатой структуры на основных частотах 0,8 и 1,6 Гц. "Натриевые" шумы мощности зависят от расхода теплоносителя через активную зону (G) и от уровня средней мощности (W). Шумы, вызванные вибрациями ПО, зависят от скорости вращения ОПО, уровня мощности и от времени работы реактора на мощности.

Спектры реакторных шумов вычислялись с помощью быстрого преобразования Фурье по выборке, состоящей из 8192 последовательных значений энергии импульсов мощности. Для уменьшения статистической погрешности спектров использовалось усреднение отдельных периодограмм и взвешивание исходных данных в соответствии с временным окном Кайзера-Бесселя. Статистическая погрешность измерения спектров составляла 15% при разрешающей способности 0,01 Гц.

Для измерения энергии импульсов мощности использовались вакуумная камера (в центре активной зоны) и ионизационные камеры деления с ^{235}U , установленные на выведенных нейтронных пучках. Время накопления данных, необходимых для получения одного спектра, составляло 30 мин.

Для классификации использовалась выборка из 212 спектров, измеренных при различных условиях работы реактора: частично в период проведения энергетического пуска, частично в период дальнейшей эксплуатации реактора на мощности 2 МВт.

2. МЕТОД КЛАССИФИКАЦИИ

Математическая формулировка задачи классификации заключалась в следующем: множество N образов $S^N = \{S_1(f), S_2(f), \dots, S_N(f)\}$ состоит из "M" неизвестного числа подмножеств (классов), которые представляют собой выборки из разных генеральных совокупностей. Элементы этих подмножеств смешаны в S^N случайным образом. Задача классификации состояла в выделении классов, адекватных основным состояниям реактора. В такой постановке эта задача не имеет универсальных и эффективных методов решения. Ограничения в значительной степени вызваны неизвестным числом классов и неизвестной степенью их пересечения ("P"). Поэтому для удобной интерпретации физических результатов классификации в условиях априорной неопределенности в значениях "M" и "P" достаточно было выделить основные взаимно компактные классы, обладающие слабым пересечением и образующие выпуклые области в пространстве признаков (в пространстве значений спектров $S(f_i)$ на частоте $f_i, i = 1, L$ (L — число точек спектра).

Сравнительный анализ наиболее приемлемых для решения данной задачи алгоритмов показал, что удачное сочетание формализованных и неформализованных процедур анализа имеет алгоритм ISODATA (итеративный самоорганизующийся метод анализа данных) [2, 4, 5, 6]. В соответствии с этим алгоритмом классификация шумовых образов реактора состояла в следующем: образы из множества S^N представлялись в виде векторов $X = (X_1, X_2, \dots, X_L)^T$ в L -мерном евклидовом пространстве, $X_i = S(f_i), i = \overline{1, L}, N = 212$.

В качестве образов реактора использовались нормированные спектральные плотности энергии импульсов мощности $S(f_i) = \bar{S}(f_i) / \sigma_Q^2$, где σ_Q^2 — дисперсия энергии импульсов мощности Q , $\bar{S}(f_i)$ — исходная спектральная плотность. Следовательно, при классификации учитывались инвариантные характеристики формы спектров, численные оценки которых не зависели в этом случае от значений абсолютной мощности реактора ($\sigma_Q^2 \sim W^2, \int S(f)df = 1$). Критерий взаимной компактности классов $K(\omega_1, \dots, \omega_M)$ задавался в виде

$$K(\omega_1, \dots, \omega_M) = \sum_{j=1}^M d_j^2,$$

где

$$d_j^2 = \frac{1}{n_j} \sum_{S_i \in \omega_j} \sum_{k=1}^L (S_{ik} - Z_{jk})^2$$

— средний квадрат евклидова расстояния между образами класса ω_j и его центром Z_j ; n_j — число образов в классе ω_j .

Основные процедуры алгоритма ISODATA приведены в [4]. Входные параметры алгоритма θ_s и θ_c , задающие условия разъединения j -го класса $\sigma_{j \max} > \theta_s$, где $\sigma_{j \max}^2$ — максимальная дисперсия образов относительно центра j -го класса, и объединения j -го и i -го классов

$$[(\bar{Z}_j - \bar{Z}_i)^T (\bar{Z}_j - \bar{Z}_i)]^{1/2} < \theta_c,$$

варьировались в расчете до получения минимума $K(\omega_1, \dots, \omega_M)$ при заданном ожидаемом числе классов. Обработка проводилась на ЭВМ IBM PC/XT.

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Исходное множество классифицируемых спектров представлено на рис.1. В множество S^N для проверки распознавания "плохих" спектров были введены 11 спектров, зарегистрированных при различных сбоях и нарушениях, имевших место в работе измерительной аппаратуры. Классификация проводилась в нескольких вариантах — при различном числе признаков (координат образов), в различных частотных диапазонах, что указано в табл.1.

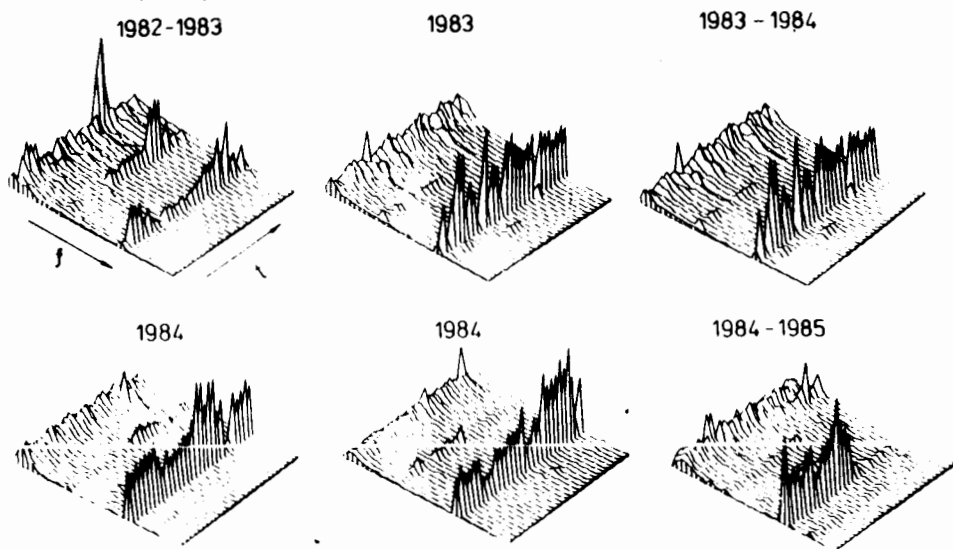


Рис.1. Нормированные спектральные плотности колебаний энергии импульсов мощности, используемые для классификации реакторного шума (первые 180 спектров из 212). f — частота, t — время.

Таблица 1

Варианты классификации. L — размерность пространства признаков спектров, i — номера анализируемых частот спектра, Δf — диапазон частот, соответствующий изменению i .

Обозначения варианта	L	i	Δf , Гц
"а"	256	1,256	$0,01 \div 2,5$
"б"	170	60,230	$0,57 \div 2,2$
"в"	40	1,40	$0,01 \div 0,38$
"г"	50	60,110	$0,57 \div 1,05$
"д"	90	140,230	$1,33 \div 2,2$

Таблица 2

Некоторые данные, полученные при классификации спектров в вариантах "а÷в": распределение числа образов по классам (n), среднее расстояние (d) и максимальное стандартное отклонение (σ_{\max}) распределения образов в классах, а также среднее расстояние между всеми образами и их центрами ($d_{\text{ц}}$).

№	"а"			"б"			"в"		
	n	d	σ_{\max}	n	d	σ_{\max}	n	d	σ_{\max}
1	3	7,1	3,3	4	3,2	1,8	5	8,1	3,7
2	29	4,5	2,0	20	2,3	1,3	20	3,2	1,2
3	35	3,9	1,4	24	1,7	1,1	115	2,7	0,7
4	11	2,9	1,4	12	1,7	1,5	11	3,4	1,3
5	23	4,3	1,3	11	2,0	1,2	8	2,9	1,0
6	22	3,6	1,3	25	2,1	1,4	41	2,3	0,6
7	5	2,8	1,5	5	2,2	1,5	4	3,8	1,8
8	9	2,9	1,1	8	2,0	1,1			
9	6	2,9	2,0	6	2,5	2,0			
10	11	4,2	2,2	11	3,3	2,2			
11	14	1,9	1,0	19	3,5	1,4			
12	1	0	0	1	0	0			
13	24	2,4	1,2	7	7,2	2,6			
14	2	2,5	2,0	3	5	2,5			
	$d_{\text{ц}} = 4,2$			$d_{\text{ц}} = 2,1$			$d_{\text{ц}} = 3,0$		

В варианте "а" классификация проводилась по всему набору признаков, т.е. в полном частотном диапазоне спектров, в "б" — в области линейчатой части спектров, коррелирующей с вибрациями ПО; в "в" — в основной области натриевых шумов, в "г" — в области фазовых колебаний ПО и одного из основных пиков на частоте 0,8 Гц, в "д" — в области наиболее интенсивных флуктуаций мощности (в основном на частоте 1,6 Гц).

Для каждого варианта классификации было получено оптимальное (с точки зрения формализованных процедур определения компактности образов) и "разумное" (с точки зрения прозрачности физических результатов) число классов.

Некоторые параметры классов, полученных в первых трех вариантах обработки, представлены в табл.2.

Таблица 3

Уровень мощности W (МВт), расход натрия через активную зону G ($\text{м}^3/\text{ч}$) и средние относительные стандартные отклонения энергии импульсов мощности σ_Q/\bar{Q} (%) для элементов N° го номера класса при классификации спектров в трех частотных диапазонах (см. табл. 1 и 2).

№	"а"			"б"			"в"	
	W	G	σ_Q/\bar{Q}	W	G	σ_Q/\bar{Q}	W	G
1	0,16÷0,43	26,40	2±0,1	16÷43	26,40	2±0,1	16÷43	40
2	0,4	40	2,2±0,4	0,4÷1,2	80	2,5±0,6	0,4	80
3	1	80	3±0,6	1	80	3,5±2	1÷2	80÷90
4	1	80	2,9±0,1	1	80	3,0±1,1	0,4÷2	85÷100
5	2	85÷100	4±0,8	1	80	2,8±0,5	2	85
6	1	80	3,2±0,9	1÷1,7	80	3,8±1,6	0,4÷2	60÷100
7	1,75	80	4±0,4	1,75	80	4,0±0,5	2	90
8	1,7÷2	80	5,3±0,7	1,7÷2	90	5,1±0,5		
9	1,8	85	6,8±0,07	1,8	85	6,8±0,7		
10	2	90	4,2±1,4	2	90	4,1±1,5		
11	2	90	4,8±0,7	2	90	4,7±0,9		
12	2	90	3,7	2	90	3,7		
13	2	90	4,1±0,3	2	85÷100	4,0±0,8		
14	2	95	5,4±0,2	2	85	4,3±0,1		

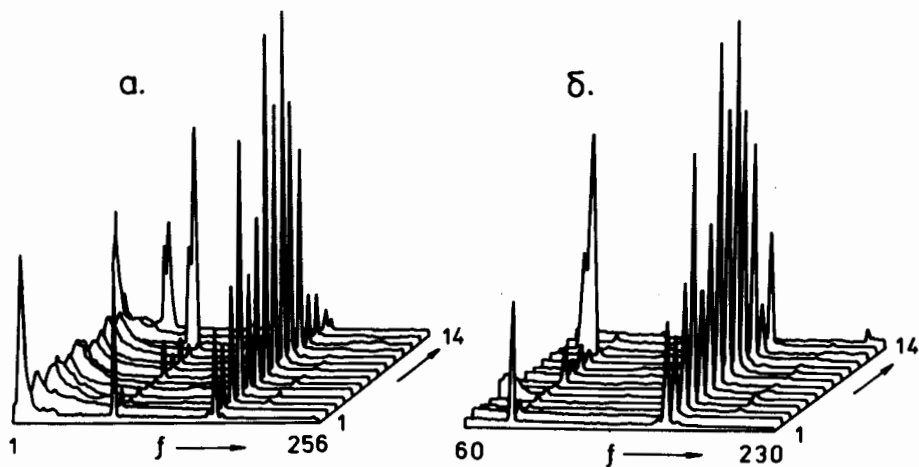


Рис.2. Центры классов при классификации спектров в вариантах "а" и "б": "а" – классификация по всему множеству признаков, "б" – классификация по признакам, связанным с вибрациями ПО. По оси частот отложен номер признака.

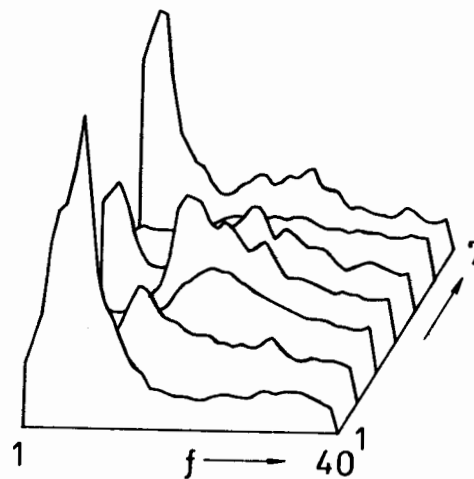


Рис.3. Центры классов при классификации спектров по признакам, связанным с движением натрия через активную зону (вариант "в"). f – частота. По оси частот отложен номер признака.

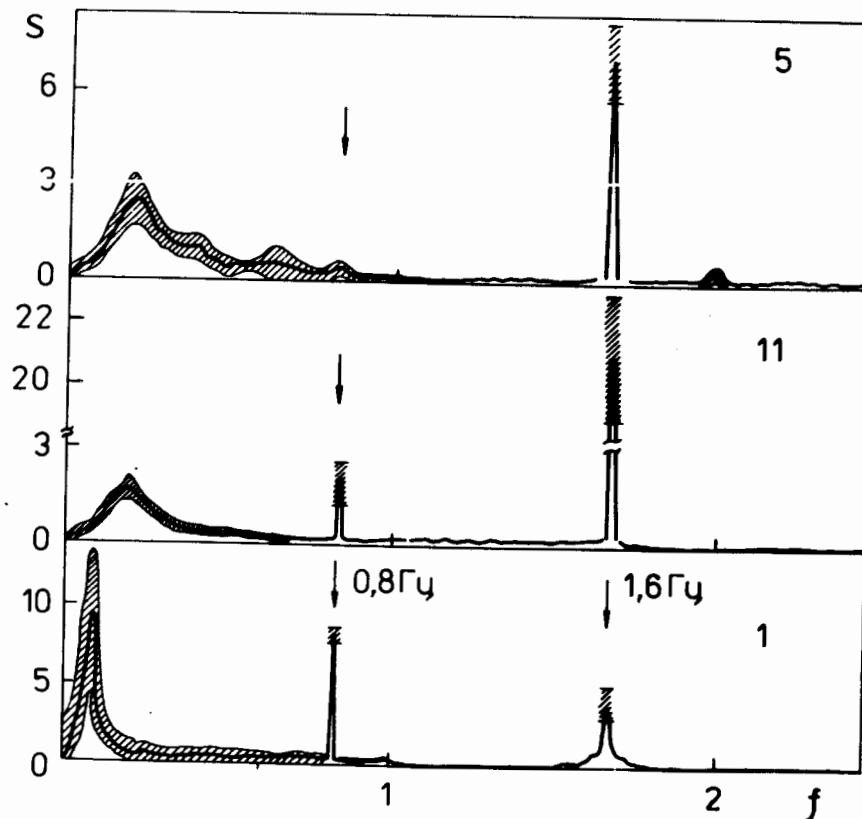


Рис.4. Типичное распределение спектров относительно центров классов в "а"-м варианте обработки. Цифры на рисунке соответствуют номеру класса, указанному в табл.2 и 3. f – частота в Гц.

В табл.3 указан уровень мощности, расход натрия и средние флуктуации мощности, соответствующие образам данного класса.

Спектральные плотности, соответствующие центрам классов для вариантов обработки, приведенных в табл.2, показаны на рис.2,3. На рис.4 в качестве иллюстрации типичного разброса образов внутри класса приведены некоторые центры классов и стандартные отклонения образов относительно их центров.

4. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ КЛАССИФИКАЦИИ

Для сравнительного анализа классов, трактуемых как некоторые гиперструктуры в многомерной системе координат (размерностью до 256), удобно было уменьшить размерность исходного пространства, выделив в нем наиболее информативную систему признаков (координат). Как показали предварительные исследования [2], количество признаков можно на порядок уменьшить, если при их выборе использовать энтропийный подход.

n -й признак считается информативным, если энтропия распределения этого признака на множестве S^N

$$H(f_n) = - \sum_{k=1}^m P_k \log P_k$$

где P_k — вероятность нахождения признака в k -м интервале его изменения, m — число интервалов разбиения значений признака, и дисперсия признака

$$D(f_n) = \left\{ \sum_{j=1}^N \frac{[S_j(f_n) - \overline{S(f_n)}]^2}{N-1} \right\}$$

удовлетворяют условию:

$$H(f_n) < H_0 \quad \text{и} \quad D^{1/2}(f_n) > D_0^{1/2}$$

Здесь H_0 и D_0 — пороговые значения энтропии и дисперсии, выбираемые экспериментально. Частотная область наиболее информативных признаков оказалась ограниченной диапазоном $\Delta f_{Na} = [-0; 0,2]$ Гц, в котором проявляется "натриевая" компонента реакторных шумов, и выделились также две частоты 0,8 и 1,6 Гц (диапазон Δf_{PO}), связанные с осевыми вибрациями ПО. Поскольку влияние натрия на мощность в области

частот 0,8 и 1,6 Гц проявляется незначительно, а физические причины корреляций натриевых эффектов с эффектами от вибрации ПО отсутствуют, то полное пространство наиболее информативных признаков в первом приближении можно было разделить на два независимых подпространства: подпространство "натриевых" признаков R^{Na} и подпространство признаков, корреляционно связанных с вибрациями ПО R^{PO} . Из условия независимости R^{Na} и R^{PO} следует, что мера количества информации, содержащейся в натриевой области признаков ΔH_{Na} и в области признаков ПО ΔH_{PO} , а также дисперсии признаков в этих областях D_{Na} и D_{PO} , аддитивны:

$$D_{\Sigma} = \Sigma D(f_n) + \Sigma D(f_i) \approx D_{Na} + D_{PO}$$

$$f_n \in \Delta f_{Na} \quad f_i \in \Delta f_{PO}$$

$$\Delta H_{\Sigma} = \Delta H_{Na} + \Delta H_{PO}$$

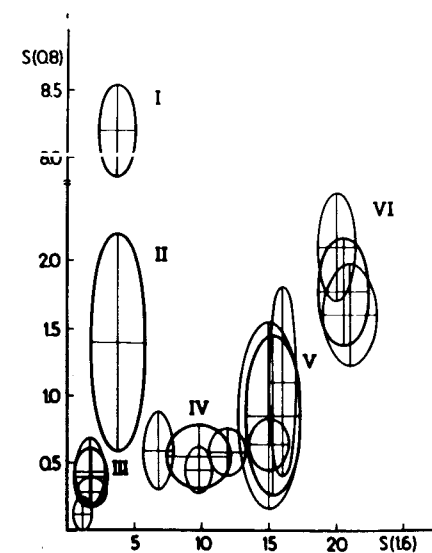


Рис.5. Проекция центров классов на плоскость наиболее информативных координат ($S(0,8) - S(1,6)$) при классификации спектров по всему множеству признаков ($L=256$). Цифрами обозначены номера укрупненных классов.

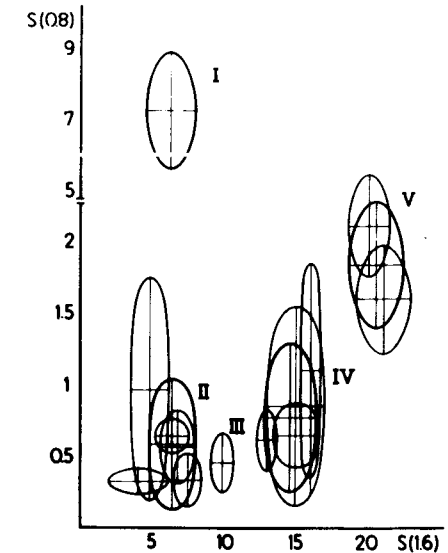


Рис.6. Проекция центров классов на плоскость наиболее информативных координат ($S(0,8) - S(1,6)$) при классификации спектров по признакам, связанным с колебаниями ПО. Цифрами обозначены номера укрупненных классов.

Здесь D_{Σ} и ΔH_{Σ} — соответственно полная дисперсия и энтропия распределения признаков;

$$\Delta H_{Na} = H_p - H(f_n): \quad \Delta H_{ПО} = H_p - H(f_i),$$

H_p — энтропия при равномерном распределении признаков. В подпространстве $R^{ПО}$ приблизительно 80% от значения $D_{ПО}$ и 70% от значения $\Delta H_{ПО}$ приходится на две компоненты, соответствующие частотам 0,8 и 1,6 Гц. Менее информативные компоненты (20% от $D_{ПО}$ и 30% от $\Delta H_{ПО}$) приходятся на частоты 0,6 Гц и 1,7; 2,0 Гц. Для анализа классов относительно условий колебаний ПО используем проекции центров классов на плоскость наиболее информативных координат ($S(0,8) - S(1,6)$). На рис.5 и 6 приведены проекции центров классов на плоскость $S(0,8) - S(1,6)$ для двух вариантов классификации: "а" ($L=256$) и "б" ($L=170$). Как видно из этих рисунков, при изменении числа признаков (L) распределение образов в подпространстве $R^{ПО}$ качественно не меняется, но в случае "б" пересечение классов более сильное, чем в "а". Ниже рассматриваются основные результаты трех основных вариантов классификации (см. "а", "б", "в" в табл.1).

Вариант "б": классификация по признакам, связанным с колебаниями ПО

Классы, пересекающиеся в плоскости $S(0,8) - S(1,6)$, объединим в три большие группы (в табл.4 римскими цифрами обозначены номера новых классов). Координаты центров новых классов $X_{ц}$

Таблица 4

Некоторые характеристики классов при классификации спектров по признакам, связанным с колебаниями ПО ($L=170$, вариант "б"): расстояние от начала координат до центров классов в плоскости $S(0,8) - S(1,6)$ ($r_{ц}$); число образов в классах (n); средние флуктуации мощности, соответствующие образам данного класса σ_Q/\bar{Q} ; значение мощности реактора и время измерения.

№ кл.	$r_{ц}$	n	σ_Q/\bar{Q}	W	Время измерения
I: 1	9,4	4	2,0	0,4	1983 г.
II: 2,3,5,12,13,14	6,4	82	3,3	1 ÷ 2	1983-84-85 гг.
III: 3	9,9	25	3,8	1 ÷ 1,66	1983-84 гг.
IV: 4,8,10,11	14,6	45	4,2	1 ÷ 2	1983-84-85 гг.
V: 7,9	20,6	11	5,5	1,7 ÷ 2	1984 г.

и стандартное отклонение образов σ относительно центров этих классов определялись в следующем виде:

$$X_{ц} = \frac{\sum X_{цi} n_i}{\sum n_i}, \quad \sigma = \frac{1}{\sum n_j} [(\sum \sigma_i^2 n_i) + \sum (X_{цi} - X_{ц})^2 n_i]^{1/2},$$

где $X_{цi}$, n_i — координаты центра и число образов i -го исходного класса. Основные характеристики классов представлены в табл.4. Центры классов на плоскости $S(0,8) - S(1,6)$ разнесены на расстояние Δr_{ij} , $i, j = 1, 5$:

$$[\Delta r_{ij}] = \begin{bmatrix} 0 & 6,6 & 7,7 & 10,6 & 15,4 \\ & 0 & 3,5 & 8,2 & 14,1 \\ & & 0 & 7,7 & 10,7 \\ & & & 0 & 6,0 \\ & & & & 0 \end{bmatrix}.$$

Класс V, наиболее удаленный от всех других, содержит образы, соответствующие максимальным флуктуациям мощности ($\sigma_Q/\bar{Q} = 5,5\%$). В ковариационном ряду исходных классов, упорядоченных по возрастанию стандартных отклонений мощности, последний элемент (9-й класс в табл.2) является выбросом (по критерию Титъена-Мура), т.е. по отношению ко всем остальным классам принадлежит к другой генеральной совокупности. Состояние реактора, соответствующее классу V, характеризуется большими флуктуациями мощности, обусловленными изменением структуры осевых колебаний ПО (этот эффект наблюдался в процессе первого выхода реактора на мощность 2 МВт; апрель 1984 г.). Дополнительные исследования показали, что класс V соответствует аномальному состоянию ПО, вызванному дефектом одного из датчиков, укрепленных на валу ДПО.

Класс I включает элементы, соответствующие малой мощности ($W \leq 0,4$ МВт). Основные классы II, III, IV соответствуют обычному эксплуатационному режиму работы реактора на мощности 1 ÷ 2 МВт. Как следует из приведенного выше анализа, смещение образов по координате $S(1,6)$ потенциально более опасно, чем по координате $S(0,8)$.

Вариант "а": классификация по всему множеству признаков ($L = 256$)

Проекция центров укрупненных классов на плоскость $S(0,8) - S(1,6)$ и распределение образов в классах близко к варианту "б". Однако число укрупненных классов по сравнению с вариантом "б" увеличилось на единицу (6). Часть спектров была идентифицирована более "правильно", поскольку число спектров, похожих на "плохие", умень-

шилось. Последние выделились в класс III при малых значениях $S(0,8)$ и $S(1,6)$. Матрица расстояний между центрами крупных классов равна

$$[\Delta r_{ij}] = \begin{bmatrix} 0 & 6,8 & 8,0 & 9,5 & 13,7 & 17,6 \\ & 0 & 2,4 & 5,6 & 11,4 & 16,3 \\ & & 0 & 7,7 & 13,6 & 18,5 \\ & & & 0 & 5,9 & 10,9 \\ & & & & 0 & 5,0 \\ & & & & & 0 \end{bmatrix}$$

Основные характеристики укрупненных классов приведены в табл.5.

Таблица 5
Некоторые характеристики укрупненных классов при классификации спектров по всему множеству признаков ($L=256$, вариант "а"); $\sigma_{\bar{Q}}/\bar{Q}(\%)$, $W(MВт)$. См. табл.4.

№№	$r_{ц}$	n	$\sigma_{\bar{Q}}/\bar{Q}$	W	Время измерения
I-1	8,3	3	2	0,4	1983 г
II: 2	4,1	29	2,2	0,4	1982-83 гг.
III: 3,12,13,14	1,7	45	3,3	1; 2	1983-85 гг.
IV: 5,6,11	9,4	64	3,9	1; 2	1984-85 гг.
V: 4,8,10	15,3	31	4,1	1 ÷ 2	1984 г.
VI: 7,9	20,6	11	5,5	1,7 ÷ 2	апрель-май 1984 г.

Классы I и VI практически идентичны классам I и V в варианте "б", хотя число элементов класса I уменьшилось на единицу: один из элементов перешел в близкий к нему класс II. Класс VI является аномальным по уровню $\sigma_{\bar{Q}}/\bar{Q}$ и полностью идентичен классу V в варианте "б".

Нормальному (эксплуатационному) режиму работы реактора соответствуют классы, центры которых ограничены областью: $S(0,8) \leq 1$, $S(1,6) \leq 16$ (классы III, IV, V). Область $S(0,8) \geq 1$ и $S(1,6) \leq 16$ соответствует режиму с пониженной мощностью и с малым расходом натрия, а область $S(0,8) \geq 1$ и $S(1,6) > 16$ — аномальному режиму работы реактора или потенциально опасным условиям работы ПО.

Вариант "в": классификация по "натриевым" признакам спектров ($L = 40$)

Предварительный анализ показал, что в этом пространстве признаков нельзя выделить достаточно информативную область с существенно меньшей размерностью. Поэтому для сравнительного анализа классов воспользуемся некоторыми интегральными характеристиками их центров: средним значением признака (\bar{S}), средней частотой спектра (\bar{f} , средний номер признака) и расстоянием от начала координат до центра классов (r — модуль радиус-вектора центра классов в пространстве R^{Na} ; $i = \overline{1,40}$). На рис.7 показано, как группируются центры классов в пространстве их характеристик (\bar{S}, \bar{f}, r). Из рис.7 видно, что исходное распределение классов достаточно четко разделяется на три группы:

I — 3, II — 2,4,5,6 и III — 1,7. Соответствующие этим группам значения мощности реактора и расхода натрия указаны в табл.6.

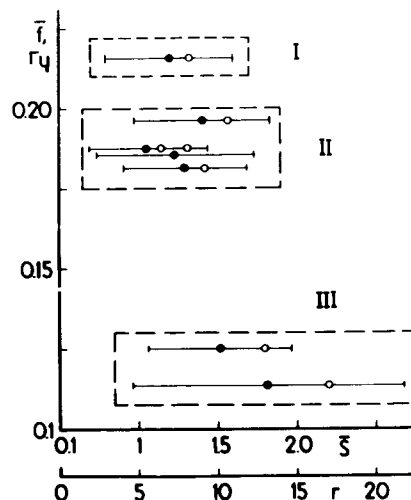


Рис.7. Классификация образов по признакам, связанным с движением натрия через активную зону ($i = \overline{1,40}$). Распределение центров классов в плоскости их интегральных характеристик. \bar{f} — средняя частота спектра, \bar{S} — среднее значение признаков, r — модуль радиус-вектора центра классов в пространстве R^{Na} .

Таблица 6
Уровень мощности реактора (W , МВт) и значение расхода натрия через активную зону (G , $м^3/ч$), соответствующие основным группам классов (классификация по натриевым признакам спектров); n — число элементов в классе.

№	W	G	n
I:	1 ÷ 2	80 ÷ 90	115
II:	0,4 ÷ 2	26 ÷ 100	80
III:	0 ÷ 2	26 ÷ 90	9

Основной класс I соответствует нормальному эксплуатационному режиму реактора ($W = 1 \div 2$ МВт, $G \geq 80$ м³/ч). Класс II включает спектры, характерные для пониженных значений мощности и расхода ($W \geq 0,4$ МВт, $G \geq 26$ м³/ч), класс III — спектры с еще меньшим уровнем мощности ($W \geq 0,03$ МВт). В последний класс входят спектры, составляющие лишь 8-11% от числа элементов других классов, т.е. достаточно редкие для ИБР-2. Особенностью этого класса является малое значение \bar{r} при высокой средней амплитуде спектров \bar{S} (в $1,3 \div 1,4$ раза выше, чем у других классов). Для всех элементов выделенных классов не было замечено никаких аномалий в работе системы охлаждения или в условиях охлаждения активной зоны. При этом ни один из исходных классов по признакам \bar{r} , \bar{S} и r не выходит за пределы статистических критериев выбросов. По-видимому, для указанных характеристик все классы отражают нормальное состояние охлаждения активной зоны, при этом состояние I является для реактора более типичным.

ВЫВОДЫ

Классификация спектров колебаний энергии импульсов мощности реактора ИБР-2 показала следующее:

1. Множество шумовых состояний реактора, зарегистрированных в период с 1982 по 1986 гг. при средней мощности $0,4 \div 2$ МВт, группируются в 4(5) наиболее типичных состояний. Последние адекватны нормальным условиям работы реактора, но различаются по уровню мощности и расходу теплоносителя через активную зону.

2. Выделен один аномальный класс шумов мощности, обусловленный отклонением от нормальных условий работы ПО.

3. Для контроля за механическими вибрациями лопастей ПО и их влиянием на шумы мощности можно использовать значения амплитуды колебаний мощности на частотах 0,8 и 1,6 Гц.

Необходимо иметь в виду, что этот вывод получен для ротора ПО-1. Для действующего сейчас ПО-2 информативные признаки спектра могут соответствовать другим частотам.

4. При классификации шумовых образов реактора по признакам, зависящим от движения натрия через активную зону, выделены три основных класса шумов. Все выделенные классы соответствуют нормальным условиям охлаждения активной зоны.

5. Принятые для классификации образов эвристический алгоритм ISODATA и энтропийный подход к выбору наиболее информативных признаков спектров колебаний мощности позволяют использовать эти методы в практической диагностике реактора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Китовски Я., Пепельшев Ю.Н. Сообщение ОИЯИ, P13-85-657, Дубна, 1985.
2. Пепельшев Ю.Н. Сообщение ОИЯИ, 13-85-795, Дубна, 1985.
3. Ананьев В.Д. и др. — АЭ, 1984, т.37, вып.4, с.229.
4. Anderberg I.M. Cluster Analysis for Application, No.4, Academic Press, 1973.
5. Richard Dubes and Jain A.K. Pattern Recognition Pergamon Press, 1976, v.8, p.247.
6. Conzales R.C., Fry D.N., Kryter R.C. — IEEE Trans.on Nuclear Science NS-21, 1,1974.

Рукопись поступила в издательский отдел
18 мая 1988 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

Д13-84-63	Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Братислава, Чехословакия, 1983.	4 р. 50 к.
Д2-84-366	Труды 7 Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1984.	4 р. 30 к.
Д1.2-84-599	Труды VII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1984.	5 р. 50 к.
Д17-84-850	Труды III Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1984. (2 тома)	7 р. 75 к.
Д11-85-791	Труды Международного совещания по аналитическим вычислениям на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1985.	4 р. 00 к.
Д13-85-793	Труды XII Международного симпозиума по ядерной электронике. Дубна, 1985.	4 р. 80 к.
Д4-85-851	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1985.	3 р. 75 к.
Д3.4.17-86-747	Труды V Международной школы по нейтронной физике Алушта, 1986.	4 р. 50 к.
—	Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1984. (2 тома)	13 р. 50 к.
Д1.2-86-668	Труды VIII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1986. (2 тома)	7 р. 35 к.
Д9-87-105	Труды X Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1986. (2 тома)	13 р. 45 к.
Д7-87-68	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Дубна, 1986.	7 р. 10 к.
Д2-87-123	Труды Совещания "Ренормгруппа - 86". Дубна, 1986.	4 р. 45 к.
Д4-87-692	Труды Международного совещания по теории малочастичных и кварк-адронных систем. Дубна, 1987.	4 р. 30 к.
Д2-87-798	Труды VIII Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1987.	3 р. 55 к.
Д14-87-799	Труды II Международного симпозиума по проблемам взаимодействия мюонов и пионов с веществом. Дубна, 1987.	4 р. 20 к.
Д17-88-95	Труды IV Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1987.	5 р. 20 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу: 101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79. Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.

Баргел М., Китовски Я., Пепельшев Ю.Н.
Классификация спектров шумов мощности
в задаче диагностики реактора ИБР-2

13-88-345

Приводятся результаты классификации спектров случайных колебаний энергии импульсов мощности реактора ИБР-2. Работа выполнена с целью использования полученных результатов для диагностики реактора и изучения его шумовых неконтролируемых состояний. Для классификации спектров использовался метод распознавания образов, основанный на эвристическом алгоритме ISODATA. Показано, что множество шумовых состояний реактора, зарегистрированных в период его основной работы на мощности 0,4-2 МВт с первым вариантом подвижного отражателя (1983-1986), группируются в 4(5) наиболее типичных состояний. Каждое из выделенных состояний соответствует нормальным условиям охлаждения активной зоны и нормальным условиям работы подвижного отражателя (ПО), но отличается по расходу теплоносителя, уровню мощности и особенностям режима вращения ПО. Выделен один класс аномальных шумов мощности, связанный с некоторыми нарушениями в работе ПО. Показана также возможность контроля состояния подвижных отражателей по изменению амплитуды колебаний мощности на некоторых выделенных частотах. Результаты классификации реакторных шумов могут быть использованы в качестве банка данных в системе диагностики реактора ИБР-2.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1988

Перевод Т.А.Филимонычевой

Bargel M., Kitowski J., Pelyshev Yu.N.
Power Noise Spectrum Classification
in the IBR-2 Reactor Diagnostics

13-88-345

The classification spectrum results of random fluctuations of the IBR-2 impulse energy are presented. The work is performed for the application of the obtained results to the reactor diagnostics and the study of its noise uncontrolled states. For classification of the spectra the method of pattern recognition based upon the heuristic algorithm ISODATA was used. It is shown that a set of noisy uncontrolled reactor states, registered during the basic reactor work period with power of 0,4-2 MVt (the first variant of the moving reflector: 1983-1986) is formed into 4(5) most typical states. Each of the states corresponds to the general conditions of the reactor core cooling and provides the normal work of the moving reflector. However, these states are recognized by the cooling flow, power level and peculiarities of the moving reflector rotation regime. One type of anomal power noise, connected with some disorder in the moving reflector work, is isolated. This work also presents the possibility of control over the state of moving reflectors according to the change of the amplitude of power oscillations at some frequencies. The reactor noise classification results can be used as the data bank in the IBR-2 reactor diagnostic system.

The investigation has been performed at the Laboratory of Neutron Physics, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1988